

**1994-2014 : Bilan de la construction et du comportement des
chaussées en béton à Transports Québec**

Denis Thébeau, ing.
Marina Beaudoin, ing
Julie Roby, ing. M. Sc. A.
Transports Québec

Communication préparée pour la séance suivante:

Construction routière: passé, présent et avenir

du Congrès de 2014
de l'Association des transports du Canada,
à Montréal (Québec)

28 septembre au 1^{er} octobre 2014

Résumé

Depuis le début des années 1990, le ministère des Transports du Québec (MTQ) a fait un important virage dans la conception des chaussées en béton, ce qui a eu une influence bénéfique sur leur comportement. Également, en 1995, le MTQ statuait dans sa Politique de construction et de conservation des chaussées en béton de ciment que le béton était une option viable. Le nombre de contrats est devenu suffisant depuis 1994 pour que l'expertise dans le domaine soit conservée. D'ailleurs, le nombre d'entreprises de construction équipées de train de pavage en béton est passé de 2 à 4 au cours des 20 dernières années.

Le comportement structural et au gel des chaussées en béton est très satisfaisant depuis 1994, comparativement à celui des décennies précédentes. Le type de dalle en béton le plus populaire est la dalle courte goujonnée. En 2000, la dalle en béton armé continu fait son apparition et elle est normalisée depuis 2006. Plusieurs innovations ont fait l'objet de premières au Canada dont notamment la dalle en béton armé continu, les dalles préfabriquées posées dans un projet de reconstruction, la pose d'une dalle en 2 couches de béton frais sur frais et les recouvrements en béton d'une chaussée souple et rigide. Le MTQ fait maintenant face à des défis de taille comme la conservation des chaussées.

La présentation fera état du résultat du cheminement qui s'est reflété positivement sur le comportement des chaussées en béton reconstruites depuis 1994. Quelques paramètres de comportement des dalles seront présentés tel l'uni, la fissuration, le décalage vertical, l'adhérence et le bruit. Pour terminer, un état de situation concernant l'entretien des chaussées en béton sera fait et les perspectives d'avenir seront mises-à-jour.

1. Mise en contexte

Le réseau de chaussées en béton totalise aujourd'hui environ 875 km, soit près de 3% du réseau revêtu du ministère des Transports du Québec (MTQ). Malgré leur faible étendue, ces chaussées ont une grande importance stratégique car elles sont soumises à une circulation très intense composée d'une forte proportion de véhicules lourds.

1.1 Historique

Depuis sa première utilisation sur une chaussée en 1927, le béton a été employé de façon plus ou moins régulière comme matériau pour la construction des routes au Québec. À quelques détails près, trois différents types de chaussées en béton ont été construits sur le réseau du MTQ selon les périodes suivantes : la fin des années 50 lors du développement du réseau routier pendant et suivant la seconde guerre mondiale, l'exposition universelle de Montréal en 1967 et les Jeux olympiques de Montréal en 1976. De façon générale, l'évolution de la conception des chaussées en béton au Québec a suivi la tendance nord-américaine.

Les années 1950 à 1970 sont caractérisées par l'utilisation de dalles longues goujonnées et renforcées d'un treillis métallique. L'épaisseur de la dalle était fixée à 230 mm et la fondation granulaire était d'épaisseur variable. Les joints étaient espacés de 12,5 m, 18,8 m et 25,0 m. Les dégradations associées à ce design étaient concentrées aux joints dus à l'ampleur des mouvements d'origine thermique. Ce type de dalle a toutefois présenté un très bon comportement structural à long terme. La dernière chaussée en béton exposée de cette époque a été recouverte d'enrobé après 50 ans. Toutes ces dalles ont maintenant atteint la fin de leur vie utile.

Pour les dix années suivantes (1970 à 1980), la tendance nord-américaine de l'époque nous a amenés à adopter le « design californien ». L'épaisseur de ces dalles courtes non goujonnées et non armées était aussi fixée à 230 mm. Les joints droits ou obliques étaient espacés de 3,6 à 5,8 m. Ce type de dalle n'était pas adapté aux conditions du Québec puisque le transfert de charge insuffisant aux joints a conduit à l'apparition de décalage vertical (Figure 1a). De plus, le mauvais comportement au gel est survenu suite à de nombreux problèmes de construction, notamment au niveau de la qualité et de l'épaisseur des dalles et des matériaux de fondation.

Dans les années 1980, les dalles courtes goujonnées ont été instaurées, mais la volonté toujours présente d'avoir des coûts compétitifs avec les chaussées en enrobé a conduit à réduire l'épaisseur des dalles à environ 200 mm. Les résultats obtenus ont été désastreux : les dalles étaient pour la plupart sous dimensionnées pour un trafic autoroutier (Figure 1b) et à plusieurs endroits, la protection contre le gel était inadéquate pour faire face aux conditions hivernales du Québec. De plus, des problèmes liés à la construction des dalles sont survenus car les entreprises n'arrivaient pas à maintenir l'expertise étant donné le nombre peu élevé de contrats.

Historiquement, les chaussées en béton n'ont pas vraiment donné le rendement escompté, d'une part parce que les types de dalle n'étaient pas nécessairement

adaptés à notre contexte nordique et d'autre part parce que l'accroissement du trafic et les charges transportées combinés à la diminution des ressources financières allouées à l'entretien ont eu un effet néfaste sur leur comportement.

1.2 Choix du type de chaussées sur le réseau du MTQ

Parmi les différentes actions entreprises pour améliorer les façons de faire, l'adoption en 1995 de la Politique de construction et de conservation des chaussées en béton de ciment statuait que l'option de chaussée en béton était une option viable sur le réseau du MTQ. Elle précisait aussi que les sections actuelles de route en béton demeureraient en béton si le besoin d'une reconstruction de la chaussée était nécessaire, à moins qu'une analyse technico-économique en dise autrement. Ces études étaient souvent contestées par les industries, ce qui rendait cette politique difficile à gérer.

En 2001, l'Orientation ministérielle sur le choix des types de chaussées [1] a remplacé la politique précédente. Cette nouvelle orientation, d'une portée de 5 ans, permet notamment de mieux tenir compte des nouvelles technologies et des besoins en matière d'interventions sur le réseau routier. Elle privilégie une approche intégrée de gestion globale des chaussées pour le réseau du MTQ. Cette orientation prend en considération les éléments suivants :

- Déterminer les types de chaussées qui sont les mieux adaptés au réseau routier sous la responsabilité du MTQ ;
- Privilégier une approche d'analyse à l'échelle du réseau plutôt qu'une approche projet par projet ;
- Utiliser une méthode d'analyse rigoureuse et reconnue qui fait appel à des paramètres cohérents et vérifiables ;
- Favoriser un processus d'élaboration transparent dans l'ensemble de la démarche.

Cette orientation, élaborée en concertation avec les industries impliquées, a permis d'identifier lequel des deux revêtements (enrobé ou béton) est le mieux adapté pour les travaux de réfection majeurs ou de reconstruction à réaliser et lequel apporte les meilleurs rendements à l'investissement [2]. 16 cas type de chaussée en béton et en enrobé ont fait l'objet d'une analyse des coûts globaux sur la durée de vie (*Life Cycle Cost Analysis - LCCA*) et les options ont été comparées entre-elles. Les résultats ont permis de tracer des courbes de régression pour chacune des catégories définies en termes de débit journalier moyen annuel (DJMA) et du nombre de voies de roulement. Des niveaux de dominance ont été calculés ce qui a permis d'établir des seuils de trafic pour les camions où le béton est plus économique que l'enrobé. Une analyse multicritère a été réalisée pour tenir compte des critères ne pouvant pas être quantifiés monétairement; le résultat étant à l'avantage de l'option enrobé, un ajustement à la baisse du niveau de dominance pour passer au béton a donc été fait pour tenir compte de ce résultat.

Pour faciliter les opérations sur le réseau et pour maintenir une expertise adéquate en région, les zones délimitant les types de chaussées ont été établies suivants des itinéraires continus. Trois zones ont ainsi été délimitées :

- une zone où les chaussées en béton sont les mieux adaptées (761 km);
- une zone où les chaussées en enrobé sont les mieux adaptées (27 000 km);
- une zone dite « grise » où aucune des options ne montre de dominance significative quant au rendement sur l'investissement.

Cette zone grise doit être adjacente au réseau en béton pour consolider les interventions d'entretien (364 km). Des analyses détaillées (LCCA et multicritère) devaient être effectuées pour chacune de ces portions de route en considérant les paramètres locaux.

Une mise à jour de cette orientation a été réalisée en 2010 et couvre la période jusqu'en 2015. Cette révision [3] a permis de tenir compte de l'évolution des paramètres, surtout des coûts et du volet environnemental. D'ailleurs, une analyse du cycle de vie a été réalisée pour les 16 cas types et les résultats ont été pris en compte dans l'analyse multicritère. La zone dite « grise » a disparu dans cette révision. Une augmentation du réseau en béton a été le principal changement et est passé de 761 km à 1231 km soit 4,4% du réseau revêtu du MTQ (Figure 2).

1.3 Statistiques sur les volumes et les coûts

Au cours des 19 dernières années, un volume de 1,2 million de mètres cubes de béton a été posé (voies de roulement et accotements en béton). Seule l'année 1995 n'a pas fait l'objet de contrat de reconstruction en béton. La moyenne annuelle est de 63 000 m³ et l'année 2010 a été la plus grosse avec 154 000 m³. Il est important de noter qu'il n'y a pas de lien entre l'Orientation ministérielle sur le choix des types de chaussées et la programmation budgétaire pour les travaux sur le réseau routier.

Historiquement, il était reconnu que le coût de construction des chaussées en béton était plus élevé que celui des chaussées en enrobé. L'option béton était alors justifiée par le fait qu'elle était plus économique lorsque l'entretien était tenu en compte pendant la durée de vie de la chaussée. Ce n'est plus nécessairement le cas depuis l'augmentation importante du coût de l'enrobé à la fin des années 2000 et depuis que la période de conception des chaussées souples sur autoroute est la même que celle en béton (30 ans). Le tableau 1 présente les coûts unitaires des matériaux utilisés dans l'analyse LCCA dans le cadre de l'Orientation ministérielle sur le choix des types de chaussées. Le calcul des coûts unitaires a été établi selon la moyenne de coûts unitaires sur des contrats de grande envergure principalement sur autoroute et dans les grandes régions de Montréal et de Québec.

Tableau 1 – Coûts unitaires des matériaux utilisés dans l'Orientation

	Coût unitaire (\$/m ³)	
	Enrobé	Béton
Première version (2001)	139	155
Révision (2010)	213	205

2. Conception et normalisation

Au début des années 1990, un vent de changement important est survenu sur le plan normatif au MTQ. La conception des chaussées a été particulièrement touchée. Dans le cas des chaussées en béton, une prise de conscience du personnel du MTQ, de l'industrie du ciment et des entrepreneurs dans le domaine s'est faite et a conduit à une volonté d'améliorer les pratiques. Le bilan des expériences du passé [4] a permis de comprendre les lacunes et d'établir une vision pour la conception des chaussées et la réalisation en chantier.

2.1 Changements dans la conception

Le MTQ a modifié de façon majeure les normes de dimensionnement des chaussées souples en 1994; celle des chaussées rigides en était d'autant affectée. La nouvelle façon de concevoir les chaussées a été basée principalement sur la méthode AASHTO (1993), et a été adaptée aux conditions particulières du Québec. Les principaux facteurs tenus en compte pour justifier ce changement sont [5]:

- L'augmentation du trafic requérant des chaussées de meilleure qualité;
- L'augmentation de l'agressivité du trafic lourd;
- L'évolution des connaissances;
- La nécessité de favoriser la souplesse d'adaptation;
- Les pratiques en usage à l'extérieur du Québec.

Comme pour les chaussées souples, le dimensionnement de la structure de chaussée en béton a maintenant une composante structurale et une composante de protection contre le gel. Les résultats du dimensionnement d'une dalle varient selon les paramètres d'intensité et de composition du trafic, de conditions climatiques et des caractéristiques des sols et des matériaux.

Bien que différentes méthodes de conception de chaussées en béton soient utilisées, la tendance actuelle est à la construction de chaussées constituées de dalles courtes goujonnées non armées (DCG). Ces dalles sont conçues à des épaisseurs variant habituellement entre 225 et 325 mm et avec des joints transversaux de retrait espacés entre 4,5 et 5,5 m. Des goujons et des tirants en acier sont utilisés respectivement dans les joints transversaux et longitudinaux. Depuis 2008, le MTQ utilise de façon expérimentale des goujons et des tirants en polymère renforcé de fibre de verre (PRFV). Deux projets de recherche ont permis de caractériser le produit et d'optimiser le design [6] pour qu'il soit compétitif avec l'acier (Figure 3).

Un autre type de dalle a été normalisé au MTQ en 2006, soit le béton armé continu (BAC). L'avantage principal du BAC est qu'il n'a pas de joint de retrait comme les DCG. Le comportement de la dalle est meilleur dans le temps et ne nécessite pratiquement pas d'entretien [7]. L'épaisseur du BAC est environ 5% plus faible que les DCG, mais le coût unitaire est environ 20 à 30% plus élevé. Le MTQ utilise un système d'ancrage à 4 poutres à chacune des extrémités du BAC pour reprendre les mouvements aux

extrémités. Le premier projet a été réalisé en 2000 sur une section de 2 km et depuis, environ 60 km (pondérés 2 voies) ont été réalisés. Lors des études de réhabilitation, une étude LCCA est effectuée pour les tronçons hautement circulés en camion afin de comparer les options de DCG et de BAC et ainsi orienter le concepteur sur le choix du type de dalle en béton à utiliser. L'utilisation des dalles en BAC est justifiée lorsque le nombre de camions est très élevé.

Étant donné le besoin élevé en épandage de sels relié aux conditions nordiques du Québec, il a été observé une progression notable de la corrosion de l'acier noir de la première section d'essais réalisée en 2000. La galvanisation de l'acier a alors été spécifiée à partir de 2003. Une autre solution a fait l'objet d'une première expérimentation mondiale; l'utilisation de barres en polymère renforcé de fibre de verre (PRFV) au lieu des barres en acier. Une section de 150 m avec différentes configurations a été construite en 2006 et a fait l'objet d'un projet de recherche sur 6 ans. L'objectif principal était d'établir une méthode de conception des chaussées en BAC avec les barres en PRFV. Le nombre élevé de paramètres de conception n'a pas permis d'obtenir des résultats suffisamment concluants à la fin du projet de recherche [8]. Une seconde section d'essais de 300 m avec une seule configuration a été construite en 2013 (Figure 4).

2.2 Changements dans la normalisation

Depuis 1994, plusieurs autres développements et essais ont été effectués afin d'améliorer la performance des chaussées et optimiser les coûts des projets.

Le recyclage du revêtement existant (enrobé et béton) en concassant ces matériaux sur place et en les réutilisant dans la sous-fondation à même les projets de reconstruction a été un succès majeur. L'apport de matériaux neufs ainsi que le transport sont limités.

L'utilisation expérimentale de géotextile drainant et de fondation drainante directement sous la dalle n'a pas montré de bénéfices notables dans le comportement par rapport à une chaussée conventionnelle (dalle sur fondation granulaire 0-20 mm). Ces techniques ont été abandonnées en raison des coûts supplémentaires apportés.

Le constat du mauvais comportement des accotements en enrobé posés à l'extrémité de la sur largeur de 600 mm des dalles reconstruites entre 1994 et 1997 a conduit à l'utilisation d'accotements pleine largeur en béton et a été normalisée depuis.

Plusieurs changements ont été apportés au niveau du colmatage de joints puisqu'il a été difficile de trouver les bons produits (prémoulé et posé à chaud) dans les années 1990. Tout d'abord, le produit au silicone a été interdit (sauf dans les bordures) suite au mauvais comportement dans les deux projets de 1994 (A-15 et A-440). Aujourd'hui, un produit de colmatage à chaud noir est spécifié pour les joints longitudinaux. Pour les joints transversaux, le produit prémoulé de forme carré a été adopté dans les normes pour son meilleur comportement. Suite à un suivi de performance de 10 ans avec 2 différentes ouvertures de réservoir (12,7 mm et 9,5 mm), le joint prémoulé posé dans le réservoir plus étroit (9,5 mm) s'est mieux comporté. Finalement, le joint longitudinal scié (lorsque 2 voies sont coulées en même temps) n'est plus colmaté à la construction et un suivi est en

cours pour ne plus colmater le joint de construction longitudinal. Il a été observé dans certains cas que le sciage de la dalle à la construction pouvait causer plus de tord que de laisser les joints sans colmatage jusqu'à la première intervention d'entretien.

La clause d'uni à la construction a beaucoup évolué depuis 1994. Le profilographe californien a d'abord été utilisé et mesurait le *Profilograph Index* (PRI). Pour avoir le même indice d'uni que les chaussées souples, le MTQ est passé du PRI à l'Indice de Rugosité International (IRI). Ce dernier est mesuré avec le profilomètre inertiel sur camion. La mesure de l'uni des chaussées en béton est maintenant effectuée avec un profilomètre à basse vitesse de type SURPRO parce qu'il permet d'évaluer l'uni sur de courts secteurs en cours de construction; il permet ainsi d'apporter les mesures correctives avant la réouverture de l'autoroute et éviter par le fait même une fermeture des voies à la fin des travaux en cas de reprise. Les clauses sont similaires à celle des routes en enrobé sauf que les montants d'ajustement sont doublées. Lors de mesures correctives, il y a une pénalité supplémentaire pour toute surface meulée au diamant.

3. Construction

Depuis 1994, environ 400 kilomètres (équivalent 2 voies) d'autoroute ont été construites ou reconstruites en béton sur le réseau du MTQ. Différentes variantes dans la construction ont été expérimentées dans le but d'optimiser les interventions et d'améliorer la performance des chaussées en béton : un bref résumé de quelques-unes d'entre-elles est présenté ci-dessous.

Par exemple, lorsqu'un rehaussement de la nouvelle chaussée à reconstruire est possible, la technique de concassage par résonance (*Rubblizing*) a été utilisée à plusieurs occasions et a permis de recycler la dalle existante en la concassant en place et en l'utilisant comme nouvelle fondation.

Pour la première fois en 2010, une paveuse à coffrages glissants assistée par une station totale robotisée a été utilisée sur la route 132 à Boucherville (figure 5). L'usage de la station totale élimine les fils de guidage en bord de la chaussée. La mise en œuvre s'est bien déroulée et l'uni obtenu était similaire à celui de la méthode conventionnelle de construction avec fils de guidage. Les entreprises favorisent l'utilisation d'usines mobiles à béton installées près des chantiers; ceci limite le temps de transport du béton. Il y a au moins 4 centrales mobiles au Québec présentement.

L'utilisation de différentes techniques de recouvrement en béton ont été utilisées au MTQ depuis 1995 : le recouvrement en béton non adhérent sur une chaussée en béton [9] et le recouvrement en béton sur une chaussée mixte et souple. Elles permettent toutes de recycler l'ancien revêtement et la structure de chaussée en place, ce qui est bénéfique pour l'environnement. La toute dernière technique à avoir été utilisée est la technique de recouvrement en béton d'une chaussée souple (*Whitetopping*) qui a été une première sur autoroute au Canada en 2010. Jusqu'à présent, 3 projets ont été réalisés de cette façon sur l'A-40 à l'Assomption (Figure 6) et ont permis, avec un minimum de préparation de la chaussée existante en enrobé, de limiter le temps de construction et de diminuer l'effet des travaux sur les usagers.

L'utilisation de dalles préfabriquées (*Superslabs*®) en reconstruction de chaussée a aussi été une première au Canada. Près de 200 dalles préfabriquées ont été posées aux approches Nord du pont Vachon sur l'A-13 à Boisbriand (Figure 7) en trois fins de semaine en 2008, alors que les travaux conventionnels auraient duré plusieurs semaines. Cette technique n'a pas encore été utilisée lors de travaux d'entretien.

Étant donné la problématique d'adhérence observée sur les chaussées en béton construites depuis 1994, une longue série d'expérimentations a débuté au début des années 2000. Les essais portaient entre autres sur le rainurage transversal et longitudinal dans le béton frais, l'exposition des granulats par dénudage chimique (gros granulats de 5-14 mm et 5-20 mm), le grenailage ainsi que le meulage et rainurage longitudinal au diamant d'une dalle neuve. En 2008, la construction d'une section de 500 m avec une dalle en béton posée en 2 couches a aussi été une première canadienne (Figure 8). La couche supérieure de 70 mm d'épaisseur (pierre très dure en grès de 4-8 mm) a été posée sur une couche de base de 190 mm (pierre de 5-20 mm). L'objectif était d'optimiser les matériaux de meilleure qualité en surface, là où ils peuvent assurer la pérennité de l'adhérence et limiter le bruit.

Finalement, pour le volet environnemental, l'utilisation de ciment modifié avec ajouts cimentaires (cendres volantes, laitiers et fumée de silice) s'est fait à la fin des années 1990 en remplacement d'une partie du ciment Portland conventionnel. De plus, à partir de 2014, il est permis de remplacer jusqu'à 15% du ciment Portland par du calcaire broyé dans les chaussées en béton pour les ciments qui ont fait l'objet d'un plan expérimental.

4. Comportement

La volonté d'améliorer nos pratiques et les différentes actions prises ne permettent pas de compléter totalement le processus à moins d'effectuer une rétroaction. Cette rétroaction est accomplie actuellement par le suivi sur le terrain du comportement des chaussées. Ce mécanisme a été entrepris en 1996 et se réalise à travers le programme ministériel de suivi de performance des chaussées [10]. La plupart des produits ou techniques utilisés pour la première fois font l'objet de ce type de suivi. C'est à cette étape du processus que la validation de nos façons de faire est effectuée. Environ 50 sections d'essais en béton sont présentement suivies de façon très détaillée : uni, dégradations (dont la fissuration et les épaufrures), décalage vertical et déflexion (dont le transfert de charge aux joints). L'adhérence et le bruit sont aussi des paramètres d'intérêt et sont évalués régulièrement au MTQ. Une présentation sommaire de certains résultats est donnée ci-dessous.

4.1 Uni

Le relevé de profilométrie permet d'évaluer l'uni de la chaussée, c'est-à-dire l'irrégularité du profil longitudinal dans les traces de roues par rapport à une surface de référence parfaitement plane [11]. L'indice d'uni utilisé est l'IRI. Pour une surface revêtue, l'échelle varie de 0 à 12 m/km, 0 étant une surface parfaitement plane. La limite d'acceptation de l'uni dans le devis de construction des chaussées en béton est de 1,2 m/km sans qu'il n'y ait de pénalité.

La figure 9 présente les valeurs moyennes d'IRI pour 7 sections d'essais de 100 à 150 m en DCG et en BAC construites entre 1994 et 2000. Les mesures d'uni ont été réalisées avec un profilomètre à basse vitesse du type SurPRO. En général, l'uni a peu évolué au cours des années (jusqu'à 17 ans) que ce soit pour les DCG ou le BAC. Il est donc important d'avoir un bon uni à la construction puisqu'il se maintient dans le temps.

4.2 Dégradations

Les dégradations sont relevées à tous les 3 ans par cartographie sur nos sections d'essais, mais aussi globalement sur des sections complètes d'autoroute. Les relevés sont effectués selon le manuel d'identification des dégradations du MTQ [12].

À titre d'exemple, les dégradations des deux sections d'autoroute les plus âgées en DCG sont présentées, soit l'A-15 à Montréal et l'A-440 à Laval, construites en 1994. Pour l'A-15 en direction nord, on a dénombré 0,45% de dalles fissurées (la plupart de sévérité faible) en 1996 et 0,68% en 2006. Le nombre de dalles fissurées est donc très faible et considéré comme normal. Pour l'A-440, on dénombre quelques fissures de sévérité faible. Comme pour l'A-15, il n'y a pas eu d'évolution significative à ce chapitre depuis 1996. Il est à noter que le produit de colmatage des joints au silicone de l'A-15 est défectueux depuis la mise en service et le regarnissage des joints n'a pas été réalisé depuis. La dégradation la plus fréquente sur l'A-440 est le nid-de-poule, qui est causé soit par le mauvais comportement des réparations en surface réalisées pendant la construction, soit par la dégradation du béton au droit du joint transversal et longitudinal.

La figure 10 montre l'évolution du taux de fissuration pour 4 sections d'essais sur le BAC, dont 2 sur l'A-13 construite en 2000 et 2 sur l'A-40 construite en 2003. En 2000, le pourcentage d'acier a été fixé à 0,7% de la section transversale du béton qui a résulté en des taux de fissuration supérieurs à ce qui était visé à la conception (0,4 à 1,0 m/m²). Pour pallier à ce phénomène, le taux d'acier est passé à 0,76% en 2003 sur l'A-40, ce qui a eu un effet positif sur le taux de fissuration qui est demeuré dans la plage visé à la conception.

En résumé, le comportement de ces chaussées répond favorablement aux attentes fixées pour les paramètres présentés ci-dessus. Cependant, il faut noter que les DCG de l'A-15 ont été resurfacées d'enrobé en 2013 pour des problèmes d'adhérence.

4.3 Décalage vertical

Le décalage vertical est la mesure de dénivellation verticale entre deux dalles à un joint ou une fissure. Ce paramètre est utilisé comme critère pour la conception structurale avec le modèle mécanistique-empirique. Le seuil reconnu est de 3 mm, seuil auquel un effet sur l'uni peut se faire sentir. Ce paramètre est mesuré avec un appareil « *Faultmeter* ».

La figure 11 montre l'évolution du décalage vertical de 14 sections d'essais (DCG). Pour les plus vieilles âgées de 19 ans, le décalage vertical moyen par section d'essais se situe entre 1,5 et 2,0 mm, ce qui est inférieur au seuil reconnu.

4.4 Adhérence

La mesure de l'adhérence de la surface au MTQ est effectuée à l'aide de l'appareil *SCRIM* (*Sideways-Force Coefficient Routine Investigation Machine*) et maintenant le V-MAC (Véhicule – Mesure de l'Adhérence des Chaussées). Le résultat est exprimé sous la forme d'un coefficient de frottement transversal (CFT). L'échelle du CFT varie de 0 à 100, 0 étant une surface très glissante. À titre de référence, la valeur 40 est la limite recommandée où une intervention pour redonner l'adhérence est requise.

La figure 12 présente les valeurs moyennes du CFT pour 3 segments d'autoroute. La dalle de l'A-15 a été construite avec des gros granulats de nature calcaire et dolomitique avec comme texture le passage d'un tapis « Astroturf ». Les 2 segments de l'A-40 ont fait l'objet de rainurage (transversal ou longitudinal) et les gros granulats étaient de nature granitique. La longueur des sections relevées est d'au moins 2 kilomètres. En général, quelque soit le type de texture, la tendance est la perte continue de points de CFT dans les premières années de mise en service reliée à l'usure de la pâte. Pour les dalles texturées avec des rainures et comprenant une meilleure qualité de granulats, l'adhérence moyenne semble vouloir se stabiliser vers un CFT de 45. Pour les dalles construites avec du calcaire et de la dolomie (comme l'A-15), il a été constaté qu'une intervention en entretien de grenailage (projection de billes d'acier sur la dalle) n'a pas permis de rétablir l'adhérence. Comme indiqué précédemment, d'autres techniques de texturisation également en entretien ont été expérimentées et font l'objet d'un suivi.

4.5 Bruit

Afin d'améliorer l'adhérence au début des années 2000, en complément au passage du tapis « Astroturf », la texturisation des dalles par rainurage transversal a été réalisé et a amené un problème de bruit pour les riverains, principalement lorsque les rainures étaient trop profondes. Le MTQ a développé l'appareil Audiomètre Routier Dynamique (ARD) monté sur un camion pour mesurer le bruit pneu-chaussée en continu.

La figure 13 présente le bilan des résultats de bruit au ARD (dBA) pour 10 sections comprenant différentes textures en béton et en enrobé à différents âges. Pour le béton, la texture de rainurage transversal est plus bruyante que le rainurage longitudinal. Après quelques années, certains enrobés (enrobé semi-grenu ESG-10 et Stone Matrix Asphalt SMA) peuvent être aussi bruyants que le rainurage transversal. La technique d'entretien de meulage au diamant et rainurage permet de diminuer le bruit pneu-chaussée.

4.6 Bilan des suivis

Les résultats des suivis de performance montrent qu'il n'y a pas eu de contre-performance jusqu'à présent dans aucune des sections de route construite ou reconstruite depuis 1994, c'est-à-dire qu'il ne s'est pas produit d'endommagement inné (relié à la construction) ni d'endommagement prématuré. Ceci est un point positif, mais des améliorations sont cependant toujours requises notamment au niveau de l'adhérence.

5. Entretien

Historiquement, faute d'expertise et de budget, les chaussées en béton n'ont pas été entretenues selon les règles d'art et la plupart d'entre elles ont été resurfacées d'enrobé 15 à 20 ans après la mise en service. Aucune donnée historique sur les coûts et les séquences d'entretien n'étaient disponibles au début des années 1990; il a donc fallu établir une séquence d'interventions théorique afin d'établir les moments propices pour faire l'entretien des dalles et aussi pour réaliser les études de coûts globaux LCCA. Cette séquence est modifiée en cours de route en fonction des expériences acquises. Elle a été établie initialement par un groupe d'ingénieurs du MTQ et s'applique dans le cas où les travaux sont réalisés selon les spécifications en vigueur. Pour que l'option chaussée en béton soit rentable, il est requis que la surface de la dalle demeure exposée le plus longtemps possible. La première version des séquences d'interventions établie en 2001 a déjà fait l'objet de changements. La dernière séquence a été validée en 2010 par la firme *Applied Research Associates* (ARA) dans le cadre de la révision de l'orientation ministérielle sur le choix des types de chaussées. La figure 14 présente la séquence d'interventions schématisée sur une période de 50 ans : les travaux initiaux de reconstruction complète de la chaussée, les différents travaux d'entretien à 10 ans (corrections mineures), 19 ans (réparations mineures), 29 ans (réparations majeures) et 39 ans (resurfaçage en enrobé) et finalement, la reconstruction de la dalle à 46 ans. Pour le BAC, la séquence est similaire mais le pourcentage de surface à réparer pour l'entretien est plus faible et la reconstruction de la dalle est au-delà de 50 ans.

Le premier projet d'entretien des chaussées en béton d'importance au MTQ depuis le début des années 1990 s'est réalisé en 2012 sur l'A-40 à Vaudreuil en direction Est (à l'ouest de l'Île de Montréal). Cette dalle a fait l'objet d'un recouvrement en béton non-adhéré en 1997 et avait un problème d'adhérence relié à l'absence de texture et à la présence de pierre calcaire et de dolomie. Les objectifs du projet d'entretien étaient donc de rétablir l'adhérence et en assurer la pérennité à moyen terme, de rétablir le profil transversal, d'améliorer l'uni et de réparer la dalle de façon curative. La solution retenue était une combinaison de réparations en surface et en profondeur en béton, un meulage pour redonner le profil transversal suivi d'un rainurage longitudinal au diamant pour redonner l'adhérence, un regarnissage des joints et un marquage permanent incrusté. Les résultats immédiatement après les travaux ont été excellents pour les paramètres suivants: l'adhérence moyenne est passée de 30 à 62 de CFT, le bruit pneu-chaussée est passé de 110,7 à 109,2 dBA et l'uni moyen est passée de 1,73 à 0,66 m/km. Après le premier hiver, le colmatage de joints à chaud n'a malheureusement pas tenu dans les joints les plus épaufrés (voie de droite) et certaines réparations en surface ont décollé surtout lors du deuxième hiver. Ces leçons apprises nous ont permis d'ajuster les spécifications du devis type pour le prochain contrat d'entretien.

6. Perspectives d'avenir

Nonobstant les expérimentations des dernières années, il y a encore des améliorations à apporter dans nos façons de faire. Les pistes de recherche sont présentées selon 3 volets : la conception, l'entretien et le développement durable.

Au niveau « conception », des efforts sont actuellement en cours pour adapter la méthode de design mécanistique-empirique MEPDG aux conditions du Québec. Des essais sont aussi en cours à savoir si le colmatage des joints est bénéfique et s'il ne devrait pas plutôt être fait à la première intervention d'entretien plutôt qu'à la construction. Une optimisation de la conception des goujons en polymère renforcé de fibre de verre est toujours en cours. Il faudrait aussi pousser plus loin l'analyse des mélanges de béton en lien avec leur capacité d'assurer la pérennité de l'adhérence dans le temps.

Pour le volet « entretien », il est requis d'avoir un budget dédié et une programmation pour permettre aux directions territoriales de faire les travaux à temps pour conserver la dalle exposée le plus longtemps possible et éviter de retourner dans le cycle des resurfaçages récurrents en enrobé comme dans le passé. Le coût des techniques doit être compétitif et il est donc requis d'avoir une demande suffisante pour le développement des entreprises locales. Il faut aussi favoriser l'utilisation de méthodes plus rapides et compétitives pour les réparations, comme par exemple les dalles préfabriquées et le planage du béton pour les réparations en surface jumelé à l'utilisation d'un produit de réparation préparé mécaniquement sur place.

Pour le « développement durable », il est requis de continuer d'encourager l'utilisation de techniques comme le recouvrement en béton et les interventions qui ont le moins d'effets possibles sur les usagers. Aussi, plusieurs études récentes tendent à démontrer qu'il y a économie d'essence à circuler sur les chaussées en béton par rapport à une chaussée en enrobé; reste à savoir si les montants d'économie sont significatifs. L'utilisation de l'analyse du cycle de vie (ACV) est de plus en plus répandue pour comparer les techniques en chaussée et deviendra certainement un incontournable à l'avenir.

7. Conclusion

Les problèmes de conception, de matériau ou de construction semblent être choses du passé. Jusqu'à présent, 20 années se sont écoulées depuis le changement important au niveau normatif survenu en 1994. Les résultats des suivis de performance démontrent qu'il n'y a pas eu de contre-performance jusqu'à présent depuis 1994, c'est-à-dire qu'il ne s'est pas produit d'endommagement inné (relié à la construction) ni d'endommagement prématuré. Ceci est une amélioration qui mérite d'être mentionnée si on se réfère à l'historique avant les années 1990.

En d'autres mots, le succès actuel des chaussées en béton est relié à un ensemble de mécanismes et d'actions qui ont été pris depuis 1994 démontrant une volonté ferme de réussir à construire des chaussées en béton qui donneront la performance escomptée. De plus, les efforts mis dans la recherche et le développement de nouvelles techniques ont permis d'améliorer nos pratiques, mais le travail n'est pas terminé puisque quelques problématiques comme l'adhérence ne sont toujours pas réglées.

Il reste aussi à mettre en place les moyens garantissant un entretien adéquat des chaussées en béton pour en assurer leur pérennité. La conservation de l'expertise de tous les intervenants passe par un nombre minimum de projets annuellement.

RÉFÉRENCES

1. Transports Québec (2001) Orientation ministérielle sur le choix des types de chaussées, Québec, Canada.
2. Cormier B., Thébeau D. (2003) Processus d'élaboration de l'orientation ministérielle sur le choix des types de chaussées de Transports Québec, ATC. <http://conf.tac-atc.ca/english/resourcecentre/readingroom/conference/conf2003/pdfs/cormier.pdf>
3. Transports Québec (2010) Orientation ministérielle sur le choix des types de chaussées, Québec, Canada. https://www.mtg.gouv.qc.ca/portal/page/portal/Librairie/Publications/fr/reseau_routier/zone_fournisseurs/chaussees/orientation_types_chaussees2010.2015.pdf
4. Dallaire E., Lupien C., Khayat K. et Aïtcin P. (1994) Revue de l'état des connaissances et de la pratique sur la conception, la construction, l'entretien et la réhabilitation des chaussées en béton de ciment, Université de Sherbrooke, Québec, Canada
5. Transports Québec (1994) Normes – Ouvrages routiers – Construction routière Tome II - Dossier justificatif, Québec, Canada.
6. Benmokrane B, Ahmed E., Montaigu M. et Thebeau D. (2014) Performance of Glass Fiber-Reinforced Polymer-Doweled Jointed Plain Concrete Pavement under Static and Cyclic Loadings, ACI Structural Journal, Title No. 111-S29
7. Association internationale permanente des Congrès de la Route AIPCR (1994) Revêtements en béton armé continu no 07.06B.
8. Thebeau D., Benmokrane B. et El-Gamal S. (2010) Three year performance of continuously reinforced concrete pavement with glass fibre reinforced polymer bars. 10th International Symposium on Concrete Roads, Séville, Espagne.
9. Cormier, B., Thebeau, D., Duchesne, LC., Dault, Y., Beckemeyer, C., et Darter, M. (2001) A Concrete Pavement Project With A 10-Year Performance Guarantee In Quebec, 7th International Conference on Concrete Pavement, ISCP, Orlando, FL, USA, 1 : 377-389.
10. Transports Québec (1995) Guide pour évaluer la performance des chaussées, Québec, Canada.
11. Transports Québec (1999) Guide d'entretien et de réhabilitation des chaussées en béton de ciment, Québec, Canada.
12. Transports Québec (1997) Manuel d'identification des dégradations des chaussées en béton de ciment, Québec, Canada.



Figure 1a – Décalage vertical (1970-80)

Figure 1b - Fissures longitudinales (1980-90)

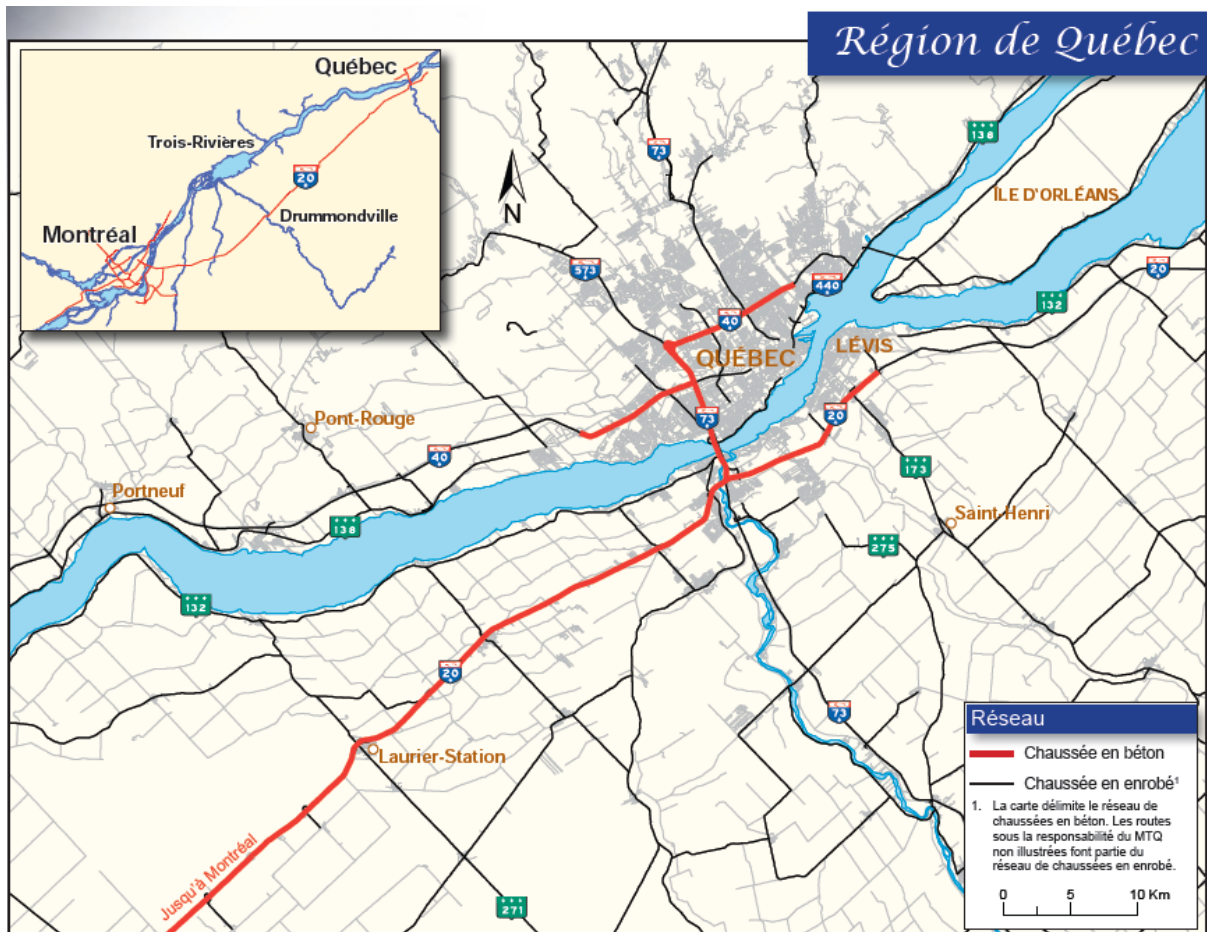


Figure 2 – Carte de la région de Québec – révision de l’Orientation de 2010



Figure 3 – Paniers à goujons en acier (vert) et en polymère renforcé de fibre de verre (blanc)



Figure 4 – Section de 300 m en armature en polymère renforcé de fibre de verre (2013)



Figure 5 – Pavage d’une dalle en béton avec une station totale robotisée (2010)



Figure 6 – Recouvrement en béton d’une chaussée souple (2010)



Figure 7 – Pose de dalles préfabriquées en construction (2008)



Figure 8 – Construction d'une dalle en béton en 2 couches et dénudage chimique (2008)

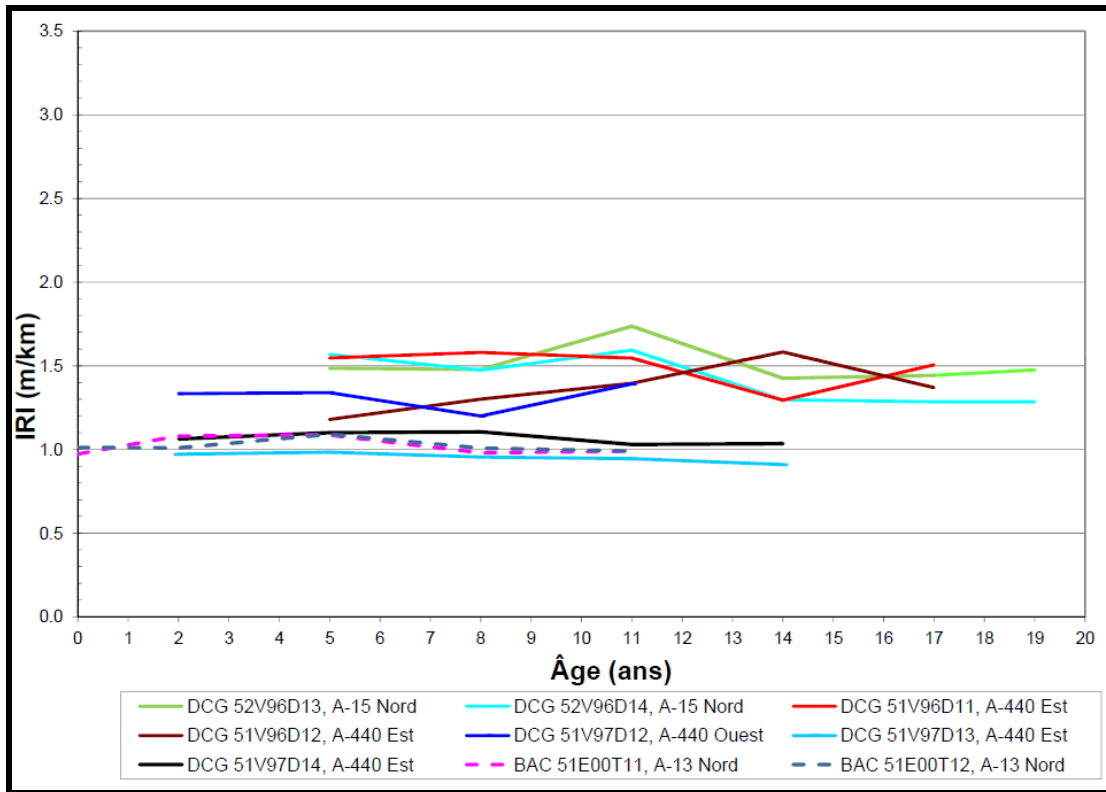


Figure 9 – Uni des sections d'essais en dalles courtes goujonnées (DCG) et béton armé continu (BAC)

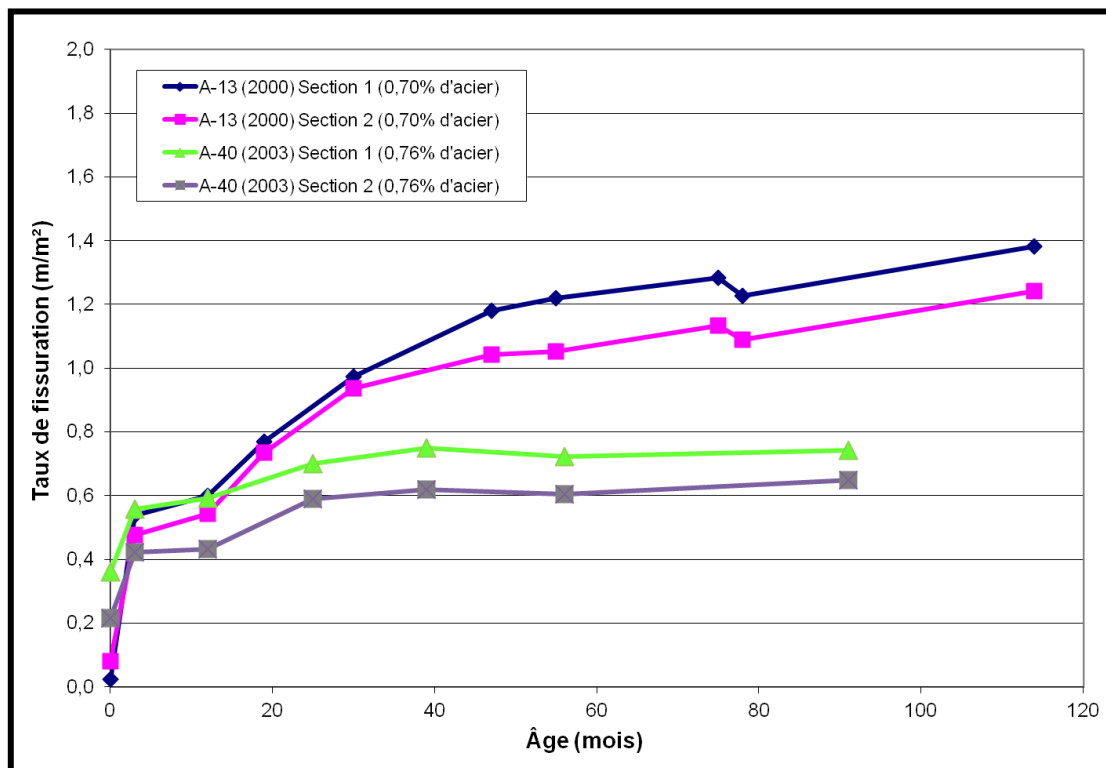


Figure 10 – Taux de fissuration des sections d'essais en béton armé continu (BAC)

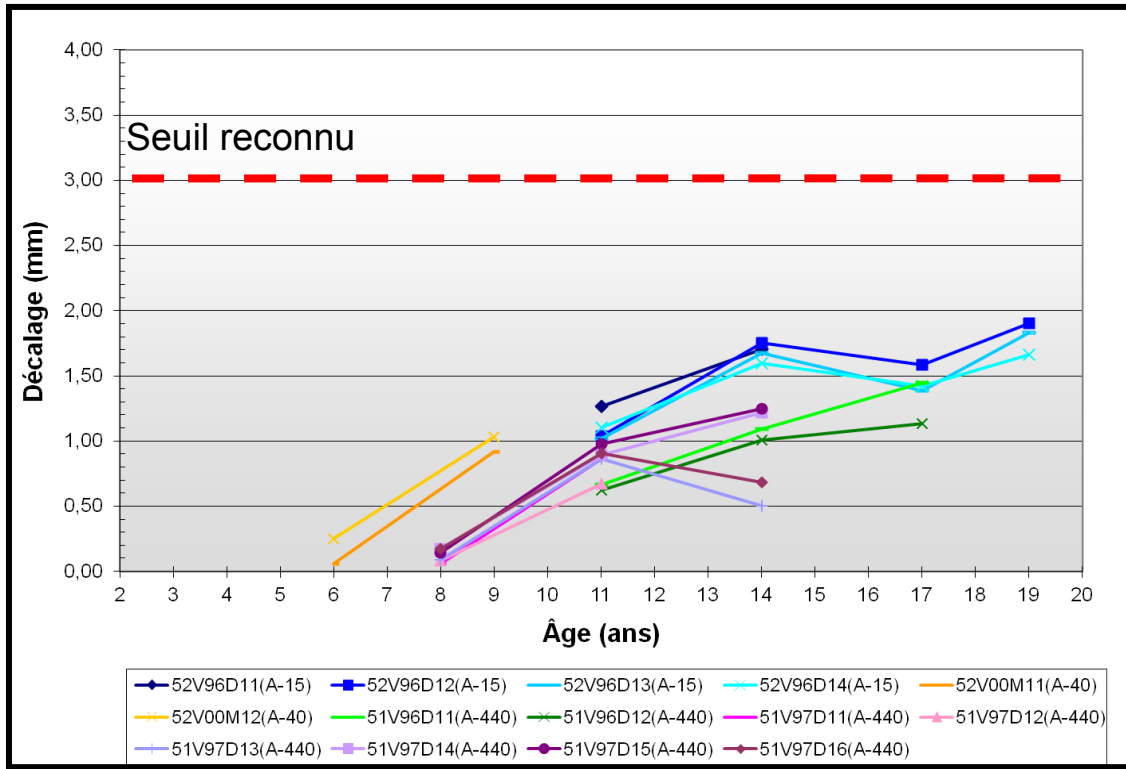


Figure 11 – Résultats du décalage vertical de 14 sections d'essais en DCG

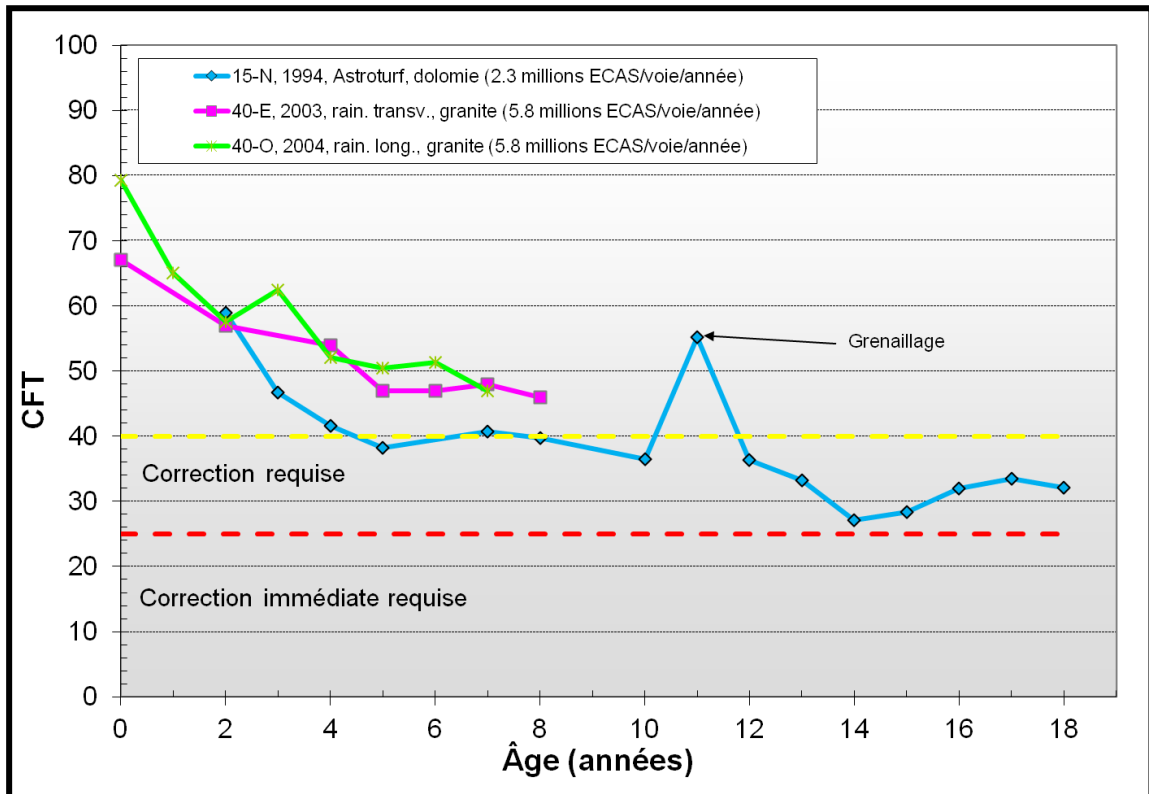


Figure 12 – Résultats de l'adhérence sur l'A-15 et l'A-40 à Montréal

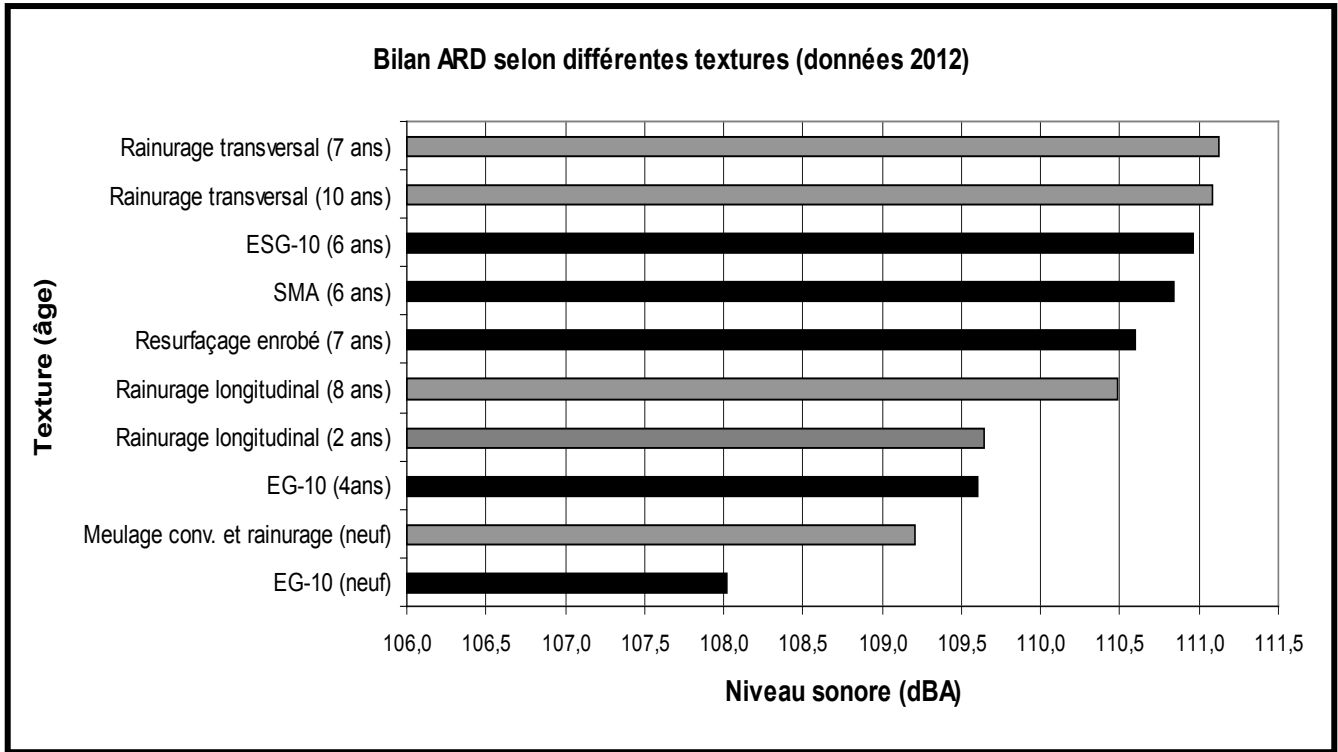


Figure 13 – Bilan du bruit pneu-chaussée (2012)

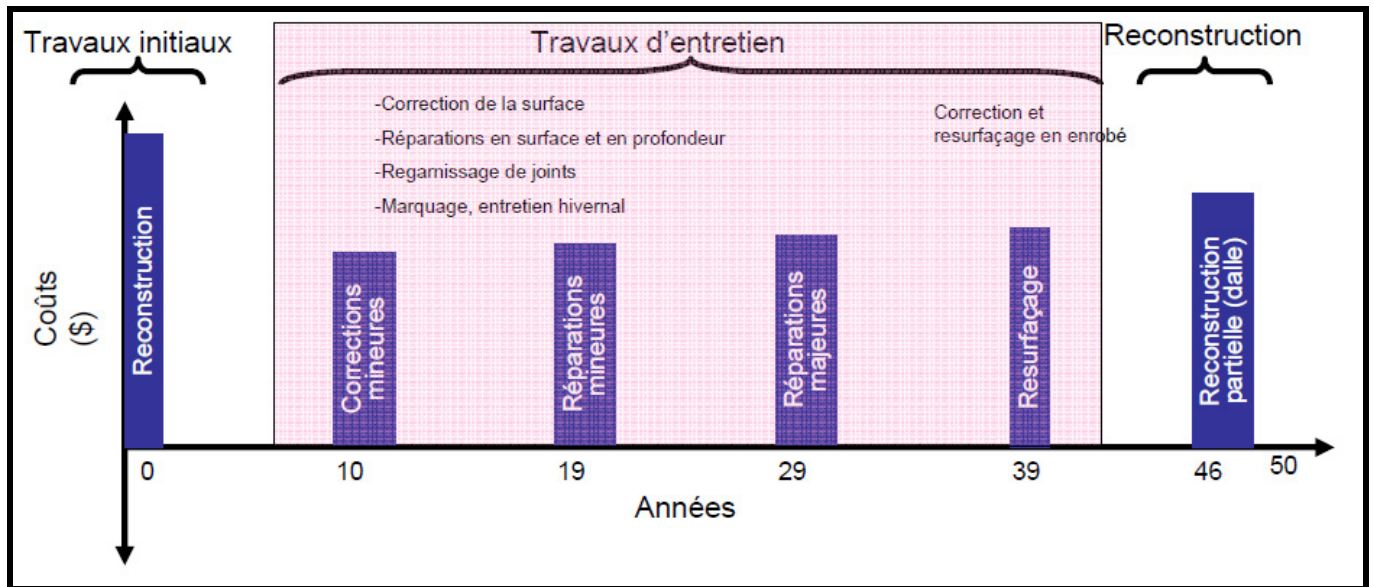


Figure 14 – Séquence d'interventions typique d'une chaussée en béton (2010)